

УДК 69.036.3

Л.В. Гапонова, П.А.Резник

Харьковский национальный университет городского хозяйства им.А.Н.Бекетова, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПЛИТЫ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ «МОНОФАНТ»

Проведено исследование напряженно-деформированного состояния нового типа архитектурно-строительной системы «Монофант» от совместного воздействия вертикальных нагрузок и при нагреве по стандартному режиму пожара. Получены поля температур по высоте сечения для всех пределов огнестойкости. Предложен алгоритм учитывающий трансформацию расчетных схем в зависимости от величин температур и избыточного давления в полостях расположения утеплителя.

Ключевые слова: огнестойкость, плита, численные исследования.

Введение

В процессе развития современного строительства с применением монолитного и сборного железобетона неуклонно повышаются требования к возводимым конструкциям, к этим требованиям можно отнести: создание новых архитектурных форм для возведения различных жилищно-гражданских объектов, облегчение применяемых конструкций и совершенствование традиционных технологий бетонирования за счет применения новых материалов. Одной из систем, удовлетворяющих современным требованиям к железобетонным конструкциям, является архитектурно-строительная система «Монофант» [1] (рис. 1).

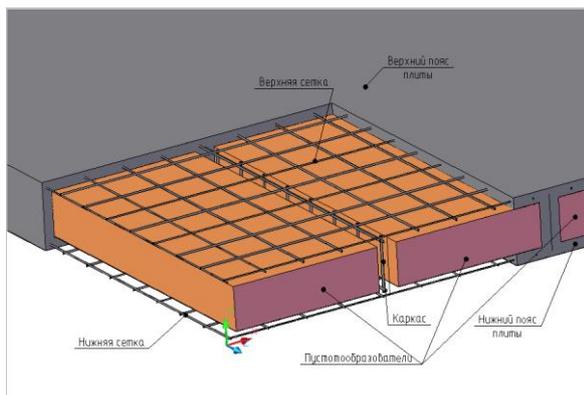


Рис. 1. Конструктивные особенности плиты конструктивной системы «Монофант».

Конструкция плиты характеризуется простой внешней и сложной внутренней геометрией. Главной особенностью данной конструкции является захоронение в теле плиты, вкладышей обусловленной формы и размеров, выполненных из легких, часто используемых материалов в

строительстве таких, как пенополистирол, минеральная вата и т.д. [2, 3].

Эффективность такой конструкции обосновывается также симметрией сечений, обуславливающей возможность ее произвольного опирания, что порождает знакопеременность поля изгибающих моментов.

Малое количество работ, посвященных работе железобетонных конструкций со сложной внутренней геометрией при воздействии высоких температур с учетом материала пустотообразователей, обосновывают необходимость проведения исследований как натуральных, так и численных.

Цель

Целью исследований является установление реального поля температур в сечениях конструкций через установленные нормативными документами промежутки времени, и изучение трансформации расчетных схем (геометрической нелинейности) вследствие действия высоких температур и разработка общего подхода для учета этих факторов.

Объектом исследования была выбрана плита архитектурно-строительной системы «Монофант».

Анализ исследований

Так как внутренняя конструктивно-анизотропная структура элементов плиты сформирована из различных материалов, то в ней имеют место увеличенные неоднородные тепловые потоки. Указанная неоднородность гипотетически может явиться причиной взаимного влияния температуры на деформации и наоборот. В связи с чем, представилась целесообразной оценка этого взаимодействия на основе идеологии динамической теории термоупругости [4, 5].

В основу этой теории положены предпосылки В. Новацкого о том, что деформация твердого тела неразделимо связана с изменением содержащегося в нем тепла, и, следовательно, с изменением распределения температуры в ограждающей конструкции. Изменяющееся во времени поле температур вызывает изменение поля деформаций, и наоборот. Внутренняя энергия конструкции зависит, таким образом, от деформаций и температуры.

Здесь следует отметить, что влияние поля деформаций на распределение температур в твердых телах незначительно, кроме случаев резкого (скачкообразного) изменения температур [4, 5]. Тем не менее, учитывая неоднородную внутреннюю структуру формируемой конструкции и неизученность процессов, которые могут проявиться в нормальных и, в особенности, аномальных условиях, считается правомерным первоначальный отказ от традиционных гипотез и допущений, обосновывающих разделение уравнений Фойгта-Джеффриса и Ляме.

Основной материал

Предполагается моделирование 3-х расчетных схем [6], учитывающих флуктуации вкладыша-пустотообразователя (рис. 2).

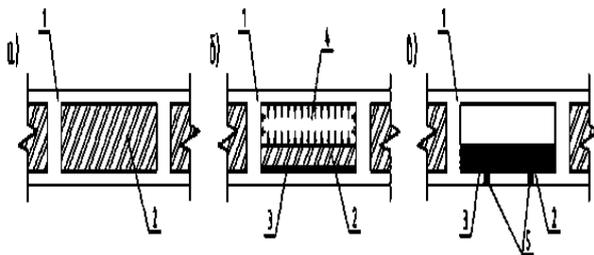


Рис. 2. Расчетные схемы, учитывающие флуктуации вкладыша-пустотообразователя

- а) для $T \leq T^*$ (T^* - температура плавления);
 - б) для температур $T > T^*$ (до образования трещин);
 - в) для температур $T > T^*$ (после образования трещин).
- 1 – железобетонная оболочка;
 2 – вкладыш-пустотообразователь;
 3 – жидкая субстанция;
 4 – газообразная субстанция с давлением P;
 5 – трещины.

Тогда алгоритм решения будет включать следующие операции:

- задание температурного поля T, удовлетворяющего начальным условиям;
- определение методом конечных элементов вектора перемещений $\{\vec{u}\}^0$;

- подстановка найденного вектора $\{\vec{u}\}^0$ и определения нового поля T;
 - подстановка температурного поля T и определение нового вектора перемещений $\{\vec{u}\}^n$;
 - выполнение сопоставления исходного вектора $\{\vec{u}\}^0$ и нового вектора $\{\vec{u}\}^n$ перемещений;
- $$|u_k^0| - |u_k^n| \leq \varepsilon \quad (1)$$

$k = 1, 2, \dots, N$,

N – количество точек сравнения;

ε - заданная точность.

В случае выполнения (1) процедура останавливается. В противном случае производится присвоение $\{\vec{u}\}^0 = \{\vec{u}\}^n$ и вся процедура повторяется вновь до выполнения (1).

Численное исследование. Объектом численного исследования была выбрана квадратная в плане плита с размером грани 4м, выполненная из тяжелого бетона класс C25/30. Рабочая арматура в каждом ребре: внизу – 1Ø14A400C, вверху – 1Ø8A400C. Высота сечения плиты 300 мм. Шаг ребер 1м, а ширина ребра 150 мм. Толщина верхней и нижней обшивки составила 50 мм. Общая вертикальная нагрузка, включая собственный вес, составила 10 кН/м².

Процедура численного исследования включала в себя следующие последовательные этапы:

определение температурного поля в плите перекрытия от воздействия высоких температур при нагреве снизу по режиму стандартного пожара;

анализ в конечно-элементной постановке плоских сечений плиты в разные моменты времени с заданием вертикальных нагрузок, действующей температуры и избыточного давления от плавления ППС, если такое имело место быть в рассматриваемый момент времени, с целью определения момента трансформации расчетной схемы;

определение приведенной изгибной толщины плиты перекрытия и установление возникающих усилий от воздействия температуры в заданный момент времени и вертикальной нагрузки;

определение несущей способности сечения плиты подверженной по деформационной методике ДСТУ Б.В.2.6-156:2010 [7] с учетом требований EN 1992-1-2 [8] и сопоставление с возникающими усилиями.

Для создания моделей численного исследования использовались программные комплексы, фундированные МКЭ. Конфигурация и размеры элементов в этих моделях устанавливаются на основе тестовых задач, путем проверки сходимости метода конечных элементов и оценки точности полученных результатов. (рис.3.4).

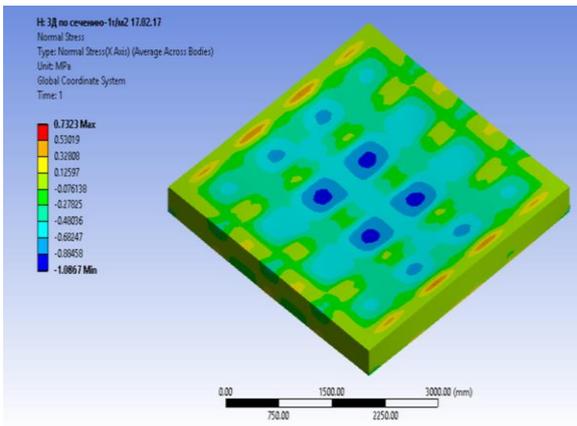


Рис.3.Результующієзначеннянормальных напряжений пространственнойтрехмерноймоделиплиты.

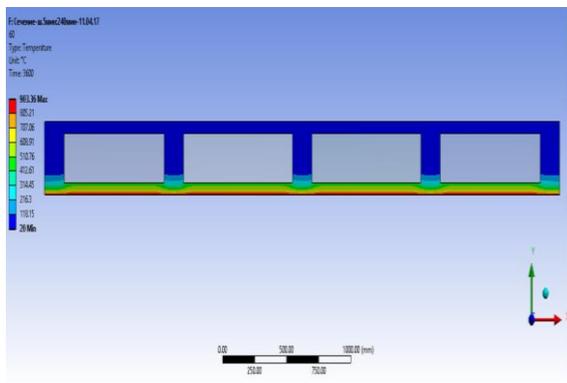


Рис. 4.Численное исследование влияния деформаций внутреннего слоя (утеплителя) на распределение температур в монококовой внешней железобетонной оболочке.

Температурные поля. Температурные поля по сечению плиты перекрытия при одностороннем нагреве по режиму стандартного пожара были получены в ПК «Ansys»[9] на объемной КЭ модели для времени нагрева от 0 мин до 240 мин.

На рисунках 5 и 6 показаны распределения температуры для плиты перекрытия высотой 300мм по бетонному сечению и по утеплителю соответственно.

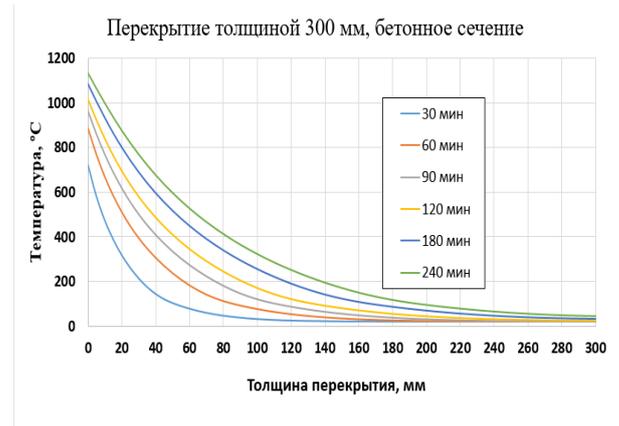


Рис. 5. Распределение температуры по высоте плиты перекрытия 300мм по бетонному сечению.

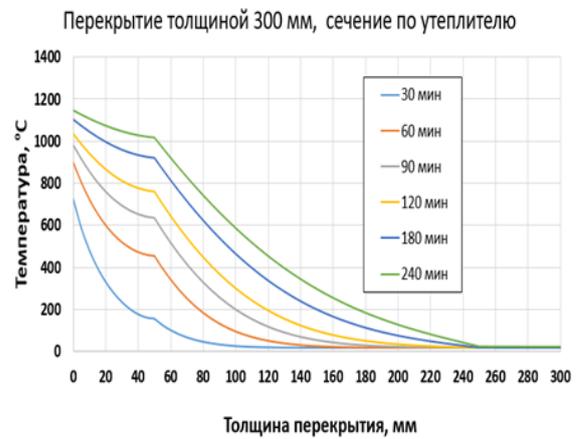


Рис. 6. Распределение температуры по высоте плиты перекрытия 300мм по утеплителю.

Для плит перекрытий жилых и административных зданий ставится требование огнестойкости R60, поэтому для дальнейшего анализа использовались температурные поля для времени не позднее 60 мин (рис 7).

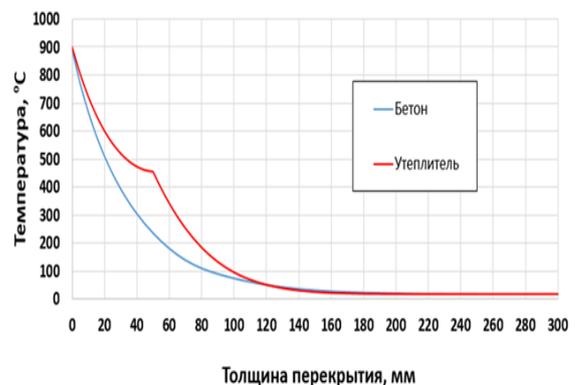


Рис. 7. Распределение температуры по высоте сечения плиты перекрытия через 60 мин при нагреве по режиму стандартного пожара.

Избыточное давление при нагреве. С целью установления влияния избыточного давления в уроне низа утеплителя при нагреве было создано 12

плоских моделей, созданных КЭ оболочки нулевой гауссовой кривизны, в ПК «Лири-Сапр» [9, 10]. Каждая из КЭ моделей отображала сечение плиты перекрытия в определенный момент времени (5-60 мин, с шагом 5 мин). В соответствии с ранее полученными полями температур в каждый КЭ модели задавалась температура как нагрузка. Кроме этого во всех моделях была приложена полная вертикальная нагрузка, а в те моменты времени, когда температура утеплителя достигала значений плавления [6], прикладывалось избыточное давление в следствии плавления утеплителя. Расчеты показали, что после 30 мин. в полости плиты создавалось на столько большое избыточное давление, что напряжения растяжения для бетона С25/30 достигали предельных значений ($f_{ctm}=2.6$ МПа) (рис. 8).

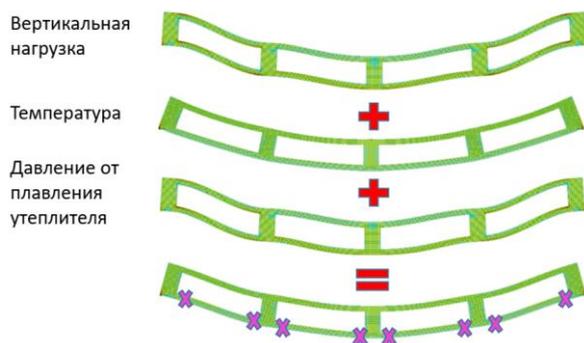


Рис. 8. Характер деформирования КЭ модели плиты перекрытия после 30 минут стандартного пожара.

Приведенная толщина перекрытия. Для получения окончательных усилий от совместного воздействия вертикальных нагрузок и температуры рассматривалась КЭ модель плиты, выполненная также из оболочек нулевой гауссовой кривизны. Приведенная толщина плиты определялась по формуле (2). Так до воздействия избыточного давления от плавления утеплителя приведенная толщина составляла 27.4 см, а после нарушения целостности нижней обшивки – 21.5 см.

$$\frac{b_{eff}\Delta}{12} = I_x \Rightarrow \Delta = \sqrt[3]{\frac{12I_x}{b_{eff}}}, \quad (2)$$

где b_{eff} – приведенная ширина полки сечения;

I_x – заранее вычисленный момент инерции

сечения;

Δ – приведенная толщина плиты.

Несущая способность сечения по деформационной методике. Определение несущей способности сечений подверженных воздействию высоких температур было проведено по деформационной методике, описанной в [7], а учет воздействия температур был реализован по методу изотермы 500°C [8].

В результате были получены диаграммы изгибающий момент – кривизна (рис. 9) для приведенного сечения. Численный эксперимент рассматриваемой плиты перекрытия архитектурно-строительной системы «Монофант» показал соответствие пределу огнестойкости R60. Влияние трансформации расчетного сечения не оказало значительного влияния. Снижение несущей способности составило ~17% по сравнению с ненагретой плитой.

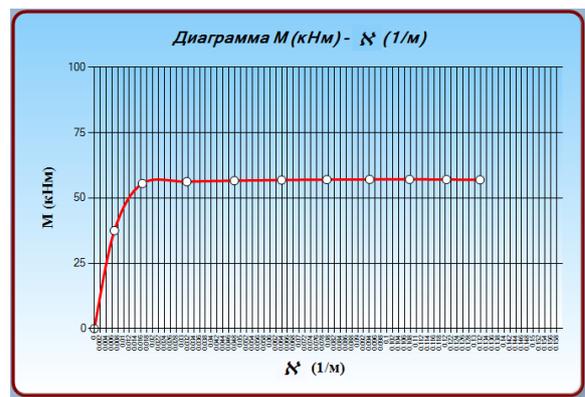


Рис. 9. Диаграмма изгибающий момент (кНм) – кривизна

Выводы

- Предложен алгоритм учитывающий трансформацию расчетных схем в зависимости от величин температур и избыточного давления в полостях расположения утеплителя.

- Получены поля распределения температур по высоте сечения плиты нового типа архитектурно-строительной системы «Монофант» при нагреве по режиму стандартного пожара для интервала времени 0-240 мин.

- Рассмотрено НДС плиты нового типа архитектурно-строительной системы «Монофант» при воздействии высоких температур при нагреве по режиму стандартного пожара и с учетом изменения расчетной схемы. Установлено соответствие пределу огнестойкости R60 данной плиты.

Литература

1. Пат. №89464. Каркаснабудівля «Монофант». / В.С.Шмуклер, В.М. Бабаєв, С.О. Бугаєвський, К.В.Бережна, І.А. Карякін, В.І. Кондращенко, І.М. Сеїрскі. – заявл. 10.10.2013.опубл. 25.04.2014. Бюл. №8.
2. Babaev, V. N. Analysis of Stress-Strain State of Spherical Roof Shell / V.N. Babaev, V.S. Shmukler, S.H. Feirushah, L.V. Gaponova, S.S. Grebenchuk, O.A. Kalmikov // 1 st International Conference on Engineering and Innovative Technology, SU-ICEIT 2016; April 12-14, 2016. – Kurdistan: Salahaddin University-Erbil, 2016. – Iraq.p. 42-49.

3. Babaev, V., Shmukler, V., Bugayevskiy, S., Nikulin, V. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its Erection // *Journal of Civil Engineering and Construction*. – 2016. – Volume 5. Number 2. – Pp. 143-156.
4. Лурье, А.И. Теория упругости. [Текст] / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
5. Ландау, Л.Д. Теория упругости. [Текст]: / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — М.: Наука, 1987. - 248 с.
6. Шмуклер, В.С. Каркасные системы облегченного типа. [Текст] / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Бурак. – Харьков: Золотые страницы, 2008. – 336 с.
7. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 [Чинний від 1.6.2011] – К.: Мінрегіонбуд України, 2011 – 118 с.
8. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design / European committee for standardization, 2004 – 97 p.
9. <http://www.ansys.com>.
10. Городецкий, А.С., Евзеров, И.Д., Стрелец-Стрелецкий, Е.Б. и др. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «Лира-Windows». – Киев: Факт, 1997. – 137 с.

References

1. Shmukler, S., Babayev, V., Buhayevskiy, S., Berezhnaya, O., KV, Karjakin IV, V Kondraschenko, IM, and IM Frame Seirski building "Monofant." Patent №89464. 25 April. 2014. Bull. 8.
2. Babaev, V. N., Gaponova, L.V., Grebenchuk, S.S., Kalmikov, O.A. (2016). Analysis of Stress-Strain State of Spherical Roof Shell; // 1 st International Conference on Engineering and Innovative Technology, SU-ICEIT April 12-14, 2016. – Kurdistan: Salahaddin University-Erbil, 2016. – Iraq. p. 42-49.
3. Babaev, V., Shmukler, V., Bugayevskiy, S., Nikulin, V. Cast Reinforced Concrete Frame of Buildings and Methods of Its

- Erection // *Journal of Civil Engineering and Construction*. – 2016. – Volume 5. Number 2. – Pp. 143-156.
4. Lurie, A. I. (1970). *The theory of elasticity*. 940 C.
5. Landau, L. D., Lifshitz, E. M. (1987). *The theory of elasticity*. 248 p.
6. V.S. Shmukler, Yu.A. Klimov, N.P. Burac. (2008). *Light-weight frame systems*. Kharkov, Ukraine: Golden Pages, 336.
7. DSTU B V. 2.6-156:2010. *Construction of houses and buildings. Concrete and reinforced concrete structures of heavy concrete*.
8. DSTU B V. 1992-1-2: 2012 Eurocode 2. "Design of reinforced concrete structures. Part 1-2. General provisions. Calculation of structures for fire resistance" (EN 1992-1-2: 2004, IDT).
9. <http://www.ansys.com>.
10. Gorodetsky AS, Evzerov ID, Sagittarius-Streletsy EB And others (1997). *The finite element method: theory and numerical realization. The program complex "Lira-Windows"*. – Kyiv, Ukraine: Fact., 137.

Рецензент: д-р техн.наук, проф. В.С. Шмуклер, Харьковский национальный университет городского хозяйства имени О.А.Н. Бекетова, Украина
Автор: ГАПОНОВА Людмила Викторовна
 канд. техн.наук, доцент, доцент
 кафедры строительных конструкций
 Харьковского национального университета
 городского хозяйства имени А.Н. Бекетова
 E-mail – gaponova.lyudochka@bk.ru

Автор: РЕЗНИК Петр Аркадьевич
 канд. техн.наук, старший преподаватель
 кафедры строительных конструкций
 Харьковского национального университета
 городского хозяйства имени А.Н. Бекетова.
 E-mail – engipr@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ПЛИТИ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОЇ СИСТЕМИ «МОНОФАНТ»

Л.В. Гапонова, П.А. Резнік

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Україна

Проведено дослідження напружено-деформованого стану нового типу архітектурно-будівельної системи «Монофант» від спільного впливу вертикальних навантажень і при дії високих температур за стандартним режимом пожежі. Отримано поля температур по висоті перетину для всіх меж вогнестійкості. Запропонований алгоритм враховує трансформацію розрахункових схем в залежності від величин температур і надлишкового тиску в порожнинах утеплювача.

Ключові слова: вогнестійкість, плита, чисельні дослідження.

RESEARCH OF FIRE RESISTANCE OF PLATE OF ARCHITECTURAL-BUILDING SYSTEM «MONOFANT»

L. Gaponova, P. Reznik

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The conduct of a new type of architectural and construction system "Monophant" from a joint action of vertical loads and on heating under the standard fire regime was carried out. The temperature fields for the height of the section are obtained for all limits of fire resistance. An algorithm is proposed that takes into account the transformation of the design schemes depending on the temperature and overpressure in the cavities of the insulation. The construction of the mathematical model of the processes under consideration was preceded by a numerical study of the effect of deformations of the inner layer (heater) on the temperature distribution in the monocoque outer reinforced concrete shell.

Under the influence of temperature, changes were made in the shape of the expanded polystyrene liner and the transition of its materials to the liquid and gaseous state.

In the PC "Lira-Sapr", an analysis of the KE model on the combined action of its own weight, payloads and the temperature distribution obtained earlier was carried out. An algorithm for determining the load-bearing capacity of a structurally anisotropic slab is suggested by the deformation method of calculation.

Keywords: fire, stove, numerous studies.